



**НИЦ «Курчатовский институт»**  
Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Государственный научный центр Российской Федерации –  
Институт Теоретической и Экспериментальной Физики»



## **СБОРНИК АННОТАЦИЙ ДОКЛАДОВ**

### **МОЛОДЕЖНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКЕ**

29 ноября - 1 декабря 2016 г.



**Москва, 2016 год**

## **ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ И ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ:**

### Председатель программного комитета :

- директор Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный научный центр Российской Федерации – Институт Теоретической и Экспериментальной Физики» НИЦ «Курчатовский институт», к.ф.-м.н.,  
**Егорычев Виктор Юрьевич;**

### Организационный комитет:

- к.ф.-м.н., Васильев Д.В.;
- к.ф.-м.н., Канцырев А.В.;
- к.ф.-м.н., Слепцов А.В.;
- к.ф.-м.н., Марков Н.В.;
- секретарь конференции, Тришкина А.Н.

Сборник аннотаций под редакцией Васильева Д.В.

Конференция проводится при частичной поддержке Российского Фонда  
Фундаментальных Исследований, грант № 16-32-10481 мол\_г

Пленарные доклады .....	7
 <b>Доклады участников конференции:</b>	
КТП С НЕТРИВИАЛЬНЫМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ В ДВУХ ИЗМЕРЕНИЯХ <i>Алексеев С.О., Астраханцев Л.Н., Ахмедов Э.Т.</i> .....	8
СТАТУС РАБОТ НА СТЕНДЕ ОБЛУЧЕНИЯ РЕАКТОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ (СОРМАТ) <i>Андреанов С.Л., Козлов А.В., Куйбида Р.П., Кулевой Т.В.</i> .....	9
МАГНИТНАЯ ТЕОРЕМА О ЦИРКУЛЯЦИИ КАК ПРОСТЕЙШИЙ СЛУЧАЙ ЗАДАЧИ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ПОЛЯ <i>Анохина А. С.</i> .....	10
КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ ПОЛЯ В 1+1-МЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ С НЕТРИВИАЛЬНЫМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ <i>Астраханцев Л.Н., Ахмедов Э.Т.</i> .....	11
ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВЯЗКОСТИ КВАРК-ГЛЮОННОЙ ПЛАЗМЫ В SU(3)- ГЛЮОДИНАМИКЕ <i>Астраханцев Н.Ю., Брагута В.В., Котов А.Ю.</i> .....	12
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА DANSS <i>Аталиков Т.С., Алексеев И.Г., Погорелов Н.А., Свирида Д.Н.</i> .....	13
ПРЯМЫЕ URSA-ПРОЦЕССЫ НЕЙТРИННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВЫРАЖЕННОГО КВАРК- ГЛЮОННОГО ГАЗА В СИЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ <i>Беляев В. А., Гвоздев А. А.</i> .....	14
ИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ГАММА-ЗОНД ДЛЯ РАДИОНУКЛИДНОЙ ДИАГНОСТИКИ В ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЕ <i>Бердникова А.К., Беляев В.Н., Болоздыня А.И., Канцеров В.А., Шмурак С.З.</i> .....	15
КВАНТОВАЯ МАТРИЦА РАКА ДЛЯ ЦВЕТНЫХ УЗЛОВ И ЗАЦЕПЛЕНИЙ <i>Бишлер Л.В.</i> .....	17
ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНОГО ТЯЖЕЛОИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННОЙ ОКСИДАМИ СТАЛИ <i>Богачев А.А., Рогожкин С.В., Никитин А.А.</i> .....	18
ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОТОННОЙ РАДИОГРАФИИ <i>Богданов А.В., Канцырев А.В., Скобляков А.В., Демидова Е.В.</i> .....	20
ПОДБОР ПАРАМЕТРОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЛАВА Fe <sub>30</sub> Cr ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЕГО НА АЗТ С ЛАЗЕРНЫМ ИСПАРЕНИЕМ <i>Букатин Т.Н., Корчуганова О.А.</i> .....	21
ИЗМЕРЕНИЕ ТОРМОЗНЫХ ПОТЕРЬ МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ В ГАЗОРАЗЯДНОЙ ПЛАЗМЕ <i>Гаврилин Р.О., Рудской И.В., Высоцкий С.А., Голубев А.А., Кузнецов А.П., Хабибуллина Е.Р., Канцырев А.В., Савин С.М., Кулевой Т.В.</i> .....	22
ПОИСК ТЯЖЕЛОГО БОЗОНА ХИГГСА, РАСПАДАЮЩЕГОСЯ НА ПАРУ W БОЗОНОВ В pp СТОЛКНОВЕНИЯХ ПРИ 13 ТэВ НА ДЕТЕКТОРЕ АТЛАС <i>Гаврилюк А.А., Рамакоти Е.Н., Цукерман И.И.</i> .....	23
ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ОДНОВРЕМЕННОГО ОБЛУЧЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>Зиятдинова А.В., Андреанов С.Л., Федин П.А., Куйбида Р.П., Кулевой Т.В.</i> .....	24
ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ Fe НА МИКРОСТРУКТУРУ ФЕРРИТНО- МАРТЕНСИТНОЙ СТАЛИ ЧС-139 <i>Искандаров Н.А., Лукьянчук А.А., Шутов А.С., Рогожкин С.В., Андреанов С.Л.</i> .....	25

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ПРОТОННОЙ РАДИОГРАФИИ <u>Колесников Д.С., Канцырев А.В., Голубев А.А.</u> .....	26
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИРАКОВСКИХ ПОЛУМЕТАЛЛОВ <u>Котов А.Ю., Брагута В.В.</u> ,.....	27
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ФОРБУШ ПОНИЖЕНИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ПАМЕЛА <u>Лагойда И.А., Воронов С.А., Михайлов В.В.</u> .....	28
ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИОНОВ $C^{4+}$ - $C^{6+}$ В ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННОМ ИСТОЧНИКЕ НА ОСНОВЕ $CO_2$ ЛАЗЕРА ДЛЯ ТЯЖЕЛОИОННОГО ИНЖЕКТОРА ИТЭФ И-4 <u>Лосев А.А., Сатов Ю.А., Васильев А.А., Шумиуров А.В., Хрисанов И.А.</u> .....	29
ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ АТОМНО-ЗОНДОВОЙ ТОМОГРАФИИ С ЛАЗЕРНЫМ ИСПАРЕНИЕМ ДЛЯ НАНОМАСШТАБНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ <u>Лукьянчук А.А., Алев А.А., Рогожкин С.В., Шутов А.С., Разницын О.А.</u> .....	30
НОВЫЕ РАСПАДЫ $\Lambda_b$ БАРИОНА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ LHCb <u>Матюнин В.И.</u> .....	31
ДЕТЕКТОР БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ С МАЛЫМ УРОВНЕМ ПОМЕХ <u>В.В. Мицук, М.В. Мордовской</u> .....	32
ИССЛЕДОВАНИЕ КЛАСТЕРНОЙ СТРУКТУРЫ ЛЕГКИХ ГАЛО-ЯДЕР: МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАКЦИЙ ${}^6He+{}^2H\rightarrow{}^6Li+(nn)$ и ${}^6Li+{}^2H\rightarrow{}^6Li+(np)$ . <u>Мицук В.В., Каспаров А.А., Конобеевский Е.С., Мордовской М.В.</u> .....	33
КРИТИЧЕСКИЕ СИЛЫ КАЗИМИРА В МОДЕЛИ ИЗИНГА С ДЕФЕКТАМИ <u>Мостовой С.Д., Павловский О.В.</u> .....	34
ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ТИТАНОВОГО СПЛАВА Ti-5Al-4V-2Zr <u>Никитин А.А., Рогожкин С.В., Корчуганова О.А., Счастливая И.А., Орехов А.С.</u> .....	35
РАСЧЕТ КРИТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ГРАФЕНЕ <u>Новосёлов А.А., Павловский О.В.</u> .....	36
МЕТОДИКА НАСТРОЙКИ И ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛЯ МАГНИТНОТВЕРДЫХ КВАДРУПОЛЬНЫХ ЛИНЗ <u>Панюшкин В.А., Голубев А.А., Канцырев А.В., Савин С.М., Богданов А.В., Скачков В.С.</u> .....	37
КАЛИБРОВКА КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЭКСПЕРИМЕНТА LHCb <u>Перейма Д.Ю.</u> .....	38
ТРЕКОВЫЙ ДЕТЕКТОР НА ОСНОВЕ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ВОЛОКОН (SciFi) ДЛЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА LHCb <u>Петров А.Н., Малинин А.Г., Шевченко В.И.</u> .....	39
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЯ СВЕТОВОХОДА СТРИПОВ ДЛЯ DANSS <u>Погорелов Н.А.</u> .....	40
АЗИМУТАЛЬНЫЕ ДЕКОРРЕЛЯЦИИ СТРУЙ ШИРОКО РАЗНЕСЕННЫХ ПО БЫСТРОТЕ В РР СТОЛКНОВЕНИЯХ С ЭНЕРГИЕЙ 7 ТэВ <u>Поздняков И.Ю.</u> .....	41
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТОМОГРАФИЧЕСКОГО АТОМНО-ЗОНДОВОГО АНАЛИЗА СТАЛЕЙ НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА <u>Разницын О.А., Лукьянчук А.А., Шутов А.С., Рогожкин С.В.</u> .....	42
КИНЕМАТИКА АДРОННЫХ СТРУЙ СОБЫТИЙ СТАНДАРТНОГО ТЯЖЕЛОГО БОЗОНА ХИГГСА И ФОНОВ ПРИ 8 ТэВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ АТЛАС <u>Рамакоти Е.Н.</u> .....	43
ВЫДЕЛЕНИЕ АНТИПРОТОНОВ НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ, ОСТАНОВИВШИХСЯ В ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНОМ КАЛОРИМЕТРЕ СПЕКТРОМЕТРА ПАМЕЛА <u>Роденко С.А., Майоров А.Г. от имени коллаборации ПАМЕЛА</u> .....	44

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРА НАКЛОНА ДИФРАКЦИОННОГО КОНУСА УПРУГОГО ПРОТОН-ПРОТОННОГО РАССЕЯНИЯ ПРИ $\sqrt{s}=200$ ГэВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ STAR <i>Самигуллин Э.И.</i> .	45
СТАРШИЕ ГАМИЛЬТониАНЫ СИСТЕМЫ КАЛОДЖЕРО И R-МАТРИЧНОЗНАЧНЫЕ ПАРЫ ЛАКСА <i>Сечин И.А.</i> .....	46
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОТОННО-РАДИОГРАФИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ В СРЕДЕ GEANT4 <i>Скобляков А.В., Канцырев А.В., Богданов А.В.</i> .....	47
БЕЗОПАСНОСТЬ БУДУЩИХ КОЛЛАЙДЕРОВ С ЭНЕРГИЕЙ 100 ТэВ В КОНТЕКСТЕ ОБРАЗОВАНИЯ СТАБИЛЬНЫХ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ЧЕРНЫХ ДЫР <i>Соколов А.В.</i> .....	48
МАГНИТНЫЕ ПОЛЯРИЗУЕМОСТИ МЕЗОНОВ <i>Соловьева О.Е., Луцевская Е.В.</i> .....	49
ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ПЕРЕДНЕМ КАЛОРИМЕТРЕ CMS <i>Степеннов А.Д., Гаврилов В.Б.</i> .....	50
ИЗМЕРЕНИЯ АДРОННЫХ СТРУЙ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ALICE <i>Султанов Р.И.</i> .....	51
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВРЕМЯ-ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ИНДЕНТИФИКАЦИИ $\pi^0$ -МЕЗОНОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ PrimEx ЛАБОРАТОРИИ ИМ. ТОМАСА ДЖЕФФЕРСОНА <i>Тарасов В.В.</i> .....	52
ПОИСК 2К-ЗАХВАТА Хе-124 <i>Текуева Д.А., Гаврилюк Ю.М., Гангапиев А.М., Казалов В.В., Кузьминов В.В., Раткевич С.С.</i> .....	53
РАЗРАБОТКА ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ВАКУУМНОГО СТЕНДА ДЛЯ НАСТРОЙКИ И ПРОВЕРКИ НА ПРЕДМЕТ ВТОРИЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ В ЧЕТВЕРТЬВОЛНОВОМ ГРУППИРОВАТЕЛЕ ПУЧКА ДЛЯ КАНАЛА СОГЛАСОВАНИЯ МЕЖДУ ФОРИНЖЕКТОРОМ С ПОКФ <i>Трушин М.С.</i> .....	54
РОСТ ПЕРВИЧНЫХ ЧЕРНЫХ ДЫР В ДОРЕКОМБИНАЦИОННУЮ ЭПОХУ <i>Урвачев Е.М., Глазырин С.И.</i> .....	56
РАСЧЕТ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ИОННЫМ ПУЧКОМ НА УСКОРИТЕЛЕ ТИПр-1 <i>Федин П.А., Куйбида Р.П., Саратовских С.М., Чалых Б.Б., Кулевой Т.В.</i> .....	57
КИРАЛЬНАЯ ВРАЩАТЕЛЬНО-ТЕПЛОВАЯ ВОЛНА В ХОЛОДНОЙ ФЕРМИ-ЖИДКОСТИ И ДЕФОРМАЦИЯ НУЛЕВОГО ЗВУКА <i>Френклах Д.М.</i> .....	58
РАЗРАБОТКА КАНАЛА ТРАНСПОРТИРОВКИ ПУЧКА НА УСКОРИТЕЛЕ ТИПр-1 ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИМИТАЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ВЗАИМОДЕЙСТВИЮ ВЕЩЕСТВА С ПЛАЗМОЙ <i>Хабибуллина Е.Р., Гаврилин Р.О., Высоцкий С.А., Канцырев А.В., Кулевой Т.В., Голубев А.А.</i> .....	59
ПЕРЕХОДНЫЕ ФОРМ-ФАКТОРЫ ПСЕВДОСКАЛЯРНЫХ МЕЗОНОВ ВО ВРЕМЕНИ-ПОДОБНОЙ ОБЛАСТИ, ПОЛУЧЕННЫЕ ИЗ АНОМАЛЬНЫХ ПРАВИЛ СУММ <i>Хлебцов С.П., Оганесян А.Г., Теряев О.В.</i> .....	60
ТОМОГРАФИЧЕСКОЕ АТОМНО-ЗОНДОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННОЙ ОКСИДАМИ СТАЛИ 12С <sub>7</sub> ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ <i>Хомич А.А., Орлов Н.Н., Разницын О.А., Лукьянчук А.А., Рогожкин С.В.</i> .....	61
ЭФФЕКТИВНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ИМПУЛЬСОВ СО <sub>2</sub> ЛАЗЕРА В УСИЛИТЕЛЕ <i>Хрисанов И.А., Сатов Ю.А., Шумиуров А.В., Балабаев А.Н., Лосев А.А.</i> .....	63
ИССЛЕДОВАНИЕ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ ВБЛИЗИ ПОРОГА НА ФЕМТОСАКУНДНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СИСТЕМЕ <i>Цымбалов И.Н., Горлова Д.А., Мордвинцев И.М., Мушкаренко А.Н., Полонский А.Л.</i> .....	64

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА GERDA ФАЗА II И ИХ СОГЛАСОВАННОСТЬ С МОДЕЛЯМИ ФОНА <u>Черногоров А.Е.</u> .....	65
РАЗВИТИЕ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОГО И ПРОГРАМНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОТОННОЙ ОНКОФАЛЬМОЛОГИИ <u>Черных А.Н.</u> .....	66
СИЛА АРХИМЕДА, ДЕЙСТВУЮЩАЯ НА КАЗИМИРОВСКУЮ СИСТЕМУ <u>Шеврин Е.Н., Шевченко В.И.</u> .....	68
ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ АППАРАТУРЫ Baikal-GVD <u>Шелепов М.Д.</u> .....	69
ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ПРОТОТИПА АТОМНО-ЗОНДОВОГО ТОМОГРАФА ПАЗЛ-3D <u>Шутов А.С., Лукьянчук А.А., Рогожкин С.В., Никитин А.А., Искандаров Н.А.</u> .....	71

1. Егорычев В.Ю. (ИТЭФ НИЦ КИ) – Новости LHCb
2. Акиндинов А.В. (ИТЭФ НИЦ КИ) – Новости ALICE
3. Цукерман И.И. (ИТЭФ НИЦ КИ) - Новости CMS и ATLAS
4. Высоцкий М.И. (ИТЭФ НИЦ КИ) – За рамками Стандартной Модели
5. Прокудин М.С. (ИТЭФ НИЦ КИ) - Эксперименты CBM и PANDA проекта FAIR
6. Канцырев А.В. (ИТЭФ НИЦ КИ) - Эксперименты коллаборации APPA проекта FAIR
7. Юдин А.В. (ИТЭФ НИЦ КИ) – Нейтринный сигнал от коллапсирующих сверхновых
8. Смирнов А.В. (ОИЯИ) – Ускорительный комплекс протонов и тяжелых ионов проекта NICA

## КТП С НЕТРИВИАЛЬНЫМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ В ДВУХ ИЗМЕРЕНИЯХ

*Алексеев С.О., Астраханцев Л.Н., Ахмедов Э.Т.*  
*ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

Рассматривается теория безмассового скалярного поля, имеющего нулевое значение на различного рода поверхностях в пространстве-времени размерности  $1+1$ . Иными словами, изучается влияние движущегося в пространстве зеркала на поведение поля. Рассматривается случай покоящегося зеркала, зеркала, вечно движущегося с постоянной скоростью, а также случай ускоренно движущегося зеркала. В последнем случае наблюдается рождение частиц.

## СТАТУС РАБОТ НА СТЕНДЕ ОБЛУЧЕНИЯ РЕАКТОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ (СОРМАТ)

*Андреанов С.Л., Козлов А.В., Куйбида Р.П., Кулевой Т.В.  
ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

В лаборатории "Перспективных разработок" ИТЭФ НИЦ "Курчатовский институт" ведутся экспериментальные работы по облучениям пучками ионов перспективных конструкционных материалов ядерной техники с целью изучения их радиационной стойкости. Для облучений используются установки: Тяжелоионный прототип-1 (ТИПр-1) и Стенд Облучений Реакторных Материалов (СОРМАТ).

На стенде СОРМАТ, мишени в форме игл с радиусом острия  $\sim 50$  нм, облучаются ионами Ti, Fe и V с энергией  $75 \cdot z$  кэВ, где  $z$  – заряд до флюенсов  $10^{15}$ - $10^{16}$  частиц/см<sup>2</sup>. Облученные образцы исследуются на атомно-зондовом томографе с целью анализа эволюции локального химического состава материала на атомарном уровне. На СОРМАТ предусмотрена возможность контролируемого нагрева облучаемых образцов до 500 °С.

В докладе дано описание электрофизической установки СОРМАТ, а так же методики работы, представлен ряд экспериментальных результатов, полученных в последнее время.

# МАГНИТНАЯ ТЕОРЕМА О ЦИРКУЛЯЦИИ КАК ПРОСТЕЙШИЙ СЛУЧАЙ ЗАДАЧИ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ПОЛЯ

*Анохина А. С.*

*ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

Один из популярных сегодня разделов математической физики – развитие физических моделей, описывающих классы эквивалентности реальных систем. Примером служат калибровочные теории, начиная с классической электродинамики, в которой базовые принципы формулируются с помощью величины – вектор-потенциала, целый класс (калибровочно-эквивалентных) значений которой соответствует одному распределению физического поля. В моделях такого рода наблюдаемые величины зачастую выражаются через различные целые числа или функции, замечательные с точки зрения ряда разделов математики: теории симметрии (теории представлений), комбинаторики, топологии. Простейшим примером служит интеграл числа зацеплений, который можно вычислить «из физических соображений» с помощью законов магнетостатики. Одна знаменитая задача современной математической физики является далеким обобщением этого простого примера. Речь идет о представлении ряда топологических инвариантов, известных как полиномы Джонса, ХОМФЛИ и Кауффмана, как вильсоновских средних в трехмерной модели Черна – Саймонса, с одной стороны, и как статсуммы двумерной модели Вессо – Зумино – Виттена – Новикова, с другой стороны. Обе модели представляют собой простейшие случаи так называемых топологических квантово-полевых моделей, исследование которых представляет собой один из самых активно развивающихся разделов математической физики на сегодняшний день.

*Работы выполнены в рамках гранта РФФИ (грант № 16-12-10344)*

# КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ ПОЛЯ В 1+1-МЕРНОМ ПРОСТРАНСТВЕ С НЕТРИВИАЛЬНЫМИ ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ

*Астраханцев Л.Н., Ахмедов Э.Т.*

*ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

Рассматривается квантовая теория скалярного безмассового поля, заануляющегося на некоторой поверхности в пространстве-времени размерности 1+1. Иными словами, изучается влияние движущегося в пространстве зеркала на поле. Приводится разбор случаев покоящегося зеркала, и зеркала, вечно движущегося с постоянной скоростью, обоснование способа вычислений.

## ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВЯЗКОСТИ КВАРК-ГЛЮОННОЙ ПЛАЗМЫ В SU(3)-ГЛЮОДИНАМИКЕ

*Астраханцев Н.Ю., Брагута В.В., Котов А.Ю.*  
*ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

Одним из наиболее важных результатов, полученных на эксперименте RHIC, является измерение эллиптического потока финальных частиц. Величина этого потока может быть объяснена в рамках гидродинамики если предположить, что кварк-глюонная плазма — почти идеальная жидкость. Доклад посвящён представлению результатов, полученных в результате вычисления сдвиговой вязкости кварк-глюонной плазмы при различных температурах в рамках решёточного моделирования. Результаты вычислений находятся в согласии с экспериментом.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА DANSS

*Аталиков Т.С., Алексеев И.Г., Погорелов Н.А., Свирида Д.Н.  
ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

В данной работе приведены результаты исследований световыхода сцинтилляционных стрипов детектора DANSS в зависимости от места пролёта частиц. Многослойный детектор из трёх стрипов с 1-2 волокон на канавку собирал статистику совпадающих событий выше шумового порога SiPM, что свидетельствовало о пролёте мюонов.

Спектры аппроксимировались свёрткой распределения Ландау-Гаусса. Для определения поперечных неоднородностей стрипов с помощью SiPM были определены энергетическое и временное разрешение частей системы.

Дополнительно были запущены пропорциональные камеры, построены траектории частиц.

# ПРЯМЫЕ URCA-ПРОЦЕССЫ НЕЙТРИННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВЫРАЖЕННОГО КВАРК-ГЛЮОННОГО ГАЗА В СИЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

*Беляев В. А., Гвоздев А. А.*

*Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова*

Первые работы, в которых обсуждаются нейтронные звёзды с кварковой средой, появились в начале 80-х. В них рассматривается холодная электронейтральная среда в бета-равновесии, состоящая из  $u$ ,  $d$ ,  $s$  – кварков и электронов. Для описания слабого взаимодействия используется эффективный лагранжиан четырёхфермионного взаимодействия. Основной вклад в нейтринную светимость такой среды дают прямые URCA-процессы, протекающие с участием  $u$ ,  $d$ -кварков, электронов и нейтрино.

Поскольку нейтронные звёзды обладают сильными магнитными полями, необходимо учесть их влияние в данной задаче. Нами рассматривается кварковая среда с сильным магнитным полем с напряжённостью порядка  $10^{13}$ - $10^{16}$  Гс. Добавление такого сильного магнитного поля не меняет уравнение состояния сверхплотной среды, однако может существенно менять её нейтринную светимость. В статье обсуждается метод вычисления нейтринной светимости в технике матрицы плотности в магнитном поле.

# ИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ГАММА-ЗОНД ДЛЯ РАДИОНУКЛИДНОЙ ДИАГНОСТИКИ В ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЕ

*Бердникова А.К.<sup>1</sup>, Беляев В.Н.<sup>1</sup>, Болоздыня А.И.<sup>1</sup>, Канцеров В.А.<sup>1</sup>, Шмурак С.З.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

<sup>2</sup> *Институт физики твердого тела РАН*

Данная работа посвящена разработке и созданию медицинского гамма-зонда для радионуклидной диагностики в ядерной медицине. В ряде клинических случаев важно проведение радиодиагностического исследования непосредственно во время хирургической процедуры. В качестве диагностических приборов в современной радионавигационной хирургии используются портативные гамма-зонды на основе неорганических сцинтилляционных кристаллов или полупроводниковых детекторов.

С целью разработки миниатюрного гамма-спектрометра, являющегося основой гамма-зонда, были исследованы неорганические сцинтилляционные кристаллы на основе галогенидов лантана, выращенные в ИФТТ РАН, г. Черноголовка [1]. Результаты экспериментальных исследований показали, что детектор на основе сцинтилляционного кристалла  $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$  цилиндрической формы с диаметром 5 мм, высотой 10 мм, в сочетании с кремниевыми фотоумножителями с чувствительной площадью  $3 \times 3 \text{ мм}^2$ , является оптимальным по спектрометрическим характеристикам. Поскольку кристалл  $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$  гигроскопичен, была разработана специальная сборка сцинтилляционного кристалла и кремниевого фотоумножителя, заключенная в единый герметичный алюминиевый корпус, которая позволила обеспечить энергетическое разрешение 4.9 % на линии 662 кэВ.

На основе разработанного детектора создан прототип медицинского гамма-зонда, гамма-локатор. Прибор является беспроводным и автономным; размеры гамма-локатора составляют  $250 \text{ мм} \times 40 \text{ мм} \times 15 \text{ мм}$ ; диаметр щупа – 15 мм. Индикация результата измерений производится тремя способами: звуковым, световым (с помощью RGB-светодиода) и цифровым (индикация скорости счета на цифровом дисплее, расположенном на корпусе). Испытания технических характеристик Гамма-локатора были проведены в соответствии со стандартным протоколом Национальной ассоциации производителей электрооборудования США NEMA NU3-2004. Результаты экспериментальных испытаний Гамма-локатора показали, что по техническим характеристикам он не уступает лучшим мировым образцам гамма-зондов [2].

В рамках данной работы также исследован метод определения глубины залегания гамма-источника в биологически активной ткани, основанный на разнице значений

линейного коэффициента поглощения энергетических линий гамма-излучения радионуклида  $^{99m}\text{Tc}$  (технеция-99m): гамма-линии с энергией 140 кэВ (выход  $\sim 89\%$ ), и низкоэнергетической линии гамма-излучения с энергией 18 кэВ (выход  $\sim 6\%$ ), которая обычно не используется в современной радиоизотопной диагностике. Экспериментальные результаты с использованием разработанного сцинтилляционного детектора подтверждают возможность определения положения источника гамма-излучения с точностью  $\pm 4$  мм в тканезквивалентной среде на глубине до 30 мм.

1. *A. С. Симутин и др. Исследование характеристик спектрометрического детектора на основе кристалла.*
2. *Zamburlini, M. et al, Comparison of sentinel gamma probes for  $^{99m}\text{Tc}$  breast cancer surgery based on NEMA NU3-2004 standard. Nucl Med Commun. – 2009. - 30:854–861.*

# КВАНТОВАЯ МАТРИЦА РАКА ДЛЯ ЦВЕТНЫХ УЗЛОВ И ЗАЦЕПЛЕНИЙ

***Бишлер Л.В.***

*ФГБУ "ГНЦ РФ ИТЭФ" НИЦ "Курчатовский Институт"*

В теории Черна-Саймонса есть нетривиальные корреляторы особого типа – вильсоновские средние, которые совпадают с полиномами ХОМФЛИ. Полиномы ХОМФЛИ для узлов и зацеплений можно получить с помощью метода Решетихина-Тураева и изучать в различных представлениях группы  $SU(N)$ . Такие полиномы называют цветными. В докладе будет описан метод Решетихина-Тураева для построения цветных инвариантов узлов и зацеплений с помощью R-матриц и матриц Рака.

# ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНОГО ТЯЖЕЛОИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННОЙ ОКСИДАМИ СТАЛИ

*Богачев А.А., Рогожкин С.В., Никитин А.А.  
ФГБУ “ГНЦ РФ ИТЭФ” НИЦ “Курчатовский Институт”*

При прохождении высокоэнергетических тяжелых ионов через материалы основная часть энергии передается электронной подсистеме, но это экстремальное воздействие так же передается и в атомную подсистему, приводя к образованию нарушений структуры материала и даже образованию треков (протяженных областей с нарушенной структурой). Данные процессы актуальны не только для полупроводниковых материалов, но и для сталей и сплавов, применяемых в космической и атомной технике, поскольку могут вызывать изменение их механических и физических свойств. Разрабатываемые в настоящее время стали представляют собой сложные гетерогенные системы, содержащие наноразмерные включения. Распространение энергии в таких структурах носит нетривиальный характер и может способствовать локальным изменениям в структурно-фазовом состоянии материала. Решение вопроса стабильности таких сталей под влиянием высокоэнергетического излучения требует систематических исследований с использованием ионного облучения в широком интервале масс и энергий, позволяющего варьировать различные уровни ионизационных потерь энергии и как следствие результирующее воздействие на материал.

Дисперсно-упрочненные оксидами (ДУО) стали рассматриваются в качестве перспективных материалов для активной зоны ядерных и термоядерных реакторов. ДУО сплавы также разрабатываются для других высокотемпературных применений, включая применение в космической промышленности. ДУО сплавы должны иметь повышенную прочность и радиационную стойкость при высоких температурах по сравнению с обычными исходными сплавами. Эти исключительные механические свойства достигаются за счет наличия большого количества мелкодисперсных оксидных наночастиц в микроструктуре. Облучение быстрыми тяжелыми ионами приводит к высокой диссипации энергии в решетке вдоль трека частицы (электронного торможения). Быстрый вклад выделившейся энергии приводит к значительным изменениям в микроструктуре оксидных частиц.

В данной работе методами высокоразрешающей просвечивающей электронной микроскопии проведено исследование стали ODS Eurofer облученной ионами ксенона (1.2 МэВ/нуклон до  $1 \cdot 10^{14}$  см<sup>-2</sup>) и золота (5.6 МэВ/нуклон до  $5 \cdot 10^{12}$  см<sup>-2</sup>) при комнатной

температуре. Проведен анализ процессов образования треков и аморфизации внутри оксидных частиц при выбранных условиях облучения.

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОТОННОЙ РАДИОГРАФИИ

*Богданов А.В., Канцырев А.В., Скобляков А.В., Демидова Е.В.  
ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

Метод протонной радиографии используется при исследованиях внутренней структуры плотных статических и динамических объектов. От других видов радиографии метод отличается большой просвечивающей способностью, высоким пространственным и временным разрешением [1]. Для обеспечения наилучшего контраста и пространственного разрешения протонно-радиографических изображений требуется с высокой точностью рассчитать ионно-оптическую схему установки. Для расчета и оптимизации ионно-оптической схемы, на основе принципа матричного формализма в приближении тонких линз была разработана методика, позволяющая выполнять построение схемы и находить оптимальные параметры протонного микроскопа при широком спектре входных данных, т.е. для широкого диапазона энергий протонного пучка и различных конфигураций квадрупольных линз, используемых при создании микроскопа. С применением данной методики, в среде COSY Infinity [2] производится расчёт схемы установки, который обеспечивает получение наилучшего пространственного разрешения протонно-радиографических изображений и минимизацию хроматических aberrаций. Полученная схема верифицируется Монте-Карло моделированием в среде GEANT [3], результаты которого позволяют наглядно продемонстрировать выходные параметры проектируемой установки.

1. A. A. Golubev, E. V. Demidova, M. M. Kats, G. N. Smirnov, V. I. Turtikov, A. D. Fertman et al. *Application of twac beams for diagnostics of fast processes Atomic Energy, Vol. 104, No. 2, 2008*
2. M. Berz and K. Makino, *COSY INFINITY 9.0 Beam Physics Manual MSU Report MSUHEP 060804 Michigan State University 2006*
3. S. Agostinelli, J. Allisonas, K. Amakoe et al, *Geant4—a simulation toolkit. S. Agostinelli et al. / Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 506 (2003) 250–303*

# ПОДБОР ПАРАМЕТРОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЛАВА Fe30Cr ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЕГО НА АЗТ С ЛАЗЕРНЫМ ИСПАРЕНИЕМ

*Букатин Т.Н., Корчуганова О.А.*

*ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

Атомно-зондовая томография – метод, заключающийся в послойном испарении образца-иглы с дальнейшим масс-спектрометрическим анализом ионов и их детектированием. Позволяет исследовать металлы, полупроводники и другие неизоляторы на атомарном уровне, что дает возможность исследовать локальные дефекты, преципитаты, зародыши новой фазы, определять их хим. состав и плотность в материале, получать трехмерную картину исследуемого образца. Метод АЗТ хорошо применим для исследования распада пересыщенного твердого раствора Fe-Cr.

При помощи метода АЗТ, используя томограф с лазерным испарением, находящийся в ИТЭФ, был исследован сплав, содержащий Fe = 69,23 ат. %, Cr = 30,77 ат. %. Были подобраны параметры исследования сплава, в ходе подбора параметров изменялась мощность, получаемая образцом при облучении его лазером, путем изменения процента пропускания аттенюатора, после этого измерялась атомная концентрация образца т.к. при неправильно подобранной мощности атомы разного сорта будут испаряться неравномерно, что приведет к ошибкам в определении концентрации. Результаты подбора приведены в таблице 1.

Таблица 1: Зависимость концентрации от энергии импульса

% аттенюатора	$E_{\text{имп}}$ , нДж	$C_{\text{Cr}}$
4	16,0	30,34
6	28,0	29,41
9	46,8	30,14
11	70,8	29,95
26	404,8	28,36
32	576,8	26,66
36	779,6	27,50

В ходе работы подобраны наиболее оптимальные параметры исследования сплава, содержащего Fe = 69,23 ат. %, Cr = 30,77 ат. %: T = 40 К,  $E_{\text{имп}} = 16$  нДж.

## ИЗМЕРЕНИЕ ТОРМОЗНЫХ ПОТЕРЬ МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ В ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ПЛАЗМЕ

*Гаврилин Р.О., Рудской И.В., Высоцкий С.А., Голубев А.А., Кузнецов А.П.,  
Хабибуллина Е.Р., Канцырев А.В., Савин С.М., Кулевой Т.В.  
ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

Исследование процессов торможения ионов в ионизированном веществе важно для получения новых знаний в областях физики плазмы и физики высокой плотности энергии в веществе, а также имеет приложение в области инерциального термоядерного синтеза на пучках тяжелых ионов. Интерес представляет взаимодействие тяжелых ионов, с энергий от 40 до 500 кэВ/а.е.м., с сильно ионизованной низкотемпературной плазмой с плотностью свободных электронов около  $10^{18}$  см<sup>-2</sup>. В работе приводится описание экспериментов [1, 2] проводимых в Институте Современной Физики (IMP CAS, Ланьчжоу, Китай) и Институте тяжелых ионов (GSI, Дармштадт, Германия), а также результаты работ по созданию экспериментальной установки на основе ускорителя ТИПр в ИТЭФ. Рассмотрены методы и подходы, применяемые для получения экспериментальных данных по торможению ионов с энергиями 100 кэВ/а.е.м. в водородной плазме сильноочной газоразрядной мишени. Также рассмотрен метод диагностики параметров плазмы [3].

*Работы выполнены при поддержке РФФИ (грант №12-02-91186-ГФЕН\_a)*

- 1. Rui Cheng, Yongtao Zhao, et al, Journal of Physics Conference Series 04/2014; 488(9):092005.DOI:10.1088/1742-6596/488/9/092005*
- 2. G. Loisch, G. Xu, et al, The spherical theta pinch and its applications, Pulsed Power Conference (PPC), 2013 19th IEEE, pages 1--7, June 2013.*
- 3. A. P. Kuznetsov, O. A. Byalkovskii, et al. Plasma Physics Reports (Impact Factor: 0.65). 03/2013; 39(3) DOI:10.1134/S1063780X13030069*

# ПОИСК ТЯЖЕЛОГО БОЗОНА ХИГГСА, РАСПАДАЮЩЕГОСЯ НА ПАРУ W БОЗОНОВ В pp СТОЛКНОВЕНИЯХ ПРИ 13 ТэВ НА ДЕТЕКТОРЕ АТЛАС

*Гаврилюк А.А., Рамакоти Е.Н., Цукерман И.И.*  
ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»

Представлен поиск тяжёлого бозона Хиггса в канале распада  $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu$ . В анализе использованы данные протон-протонных столкновений детектора АТЛАС на Большом адронном коллайдере, соответствующие интегральной светимости в  $13.2 \text{ fb}^{-1}$  и собранные при энергии в системе центра масс 13 ТэВ. Свидетельств в пользу тяжёлого бозона Хиггса не обнаружено. Поставлены верхние пределы на  $\sigma \text{BR}(H \rightarrow WW)$  как функция массы и ширины бозона Хиггса в пределах от 300 ГэВ до 3 ТэВ.

## **ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ОДНОВРЕМЕННОГО ОБЛУЧЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

***Зиятдинова А.В.<sup>1,2</sup>, Андрианов С.Л.<sup>2</sup>, Федин П.А.<sup>1,2</sup>, Куйбида Р.П.<sup>2</sup>, Кулевой Т.В.<sup>1,2</sup>***

*<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

*<sup>2</sup>ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

В настоящее время ускорительная техника широко используется в материаловедении. В Институте теоретической и Экспериментальной Физики разрабатывается новая установка, предназначенная для облучения материалов ускоренными пучками ионов. Эта установка позволит проводить одновременное облучение одной мишени двумя пучками. Один из которых – тяжелоионный пучок, а другой – протонный или гелиевый. Это позволит реализовать имитационные эксперименты по оценке радиационной стойкости перспективных материалов для ядерных и термоядерных реакторов. В этой работе представляется предварительный проект этого испытательного стенда.

## ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ Fe НА МИКРОСТРУКТУРУ ФЕРРИТНО-МАРТЕНСИТНОЙ СТАЛИ ЧС-139

*Искандаров Н.А., Лукьянчук А.А., Шутов А.С., Рогожкин С.В., Андрианов С.Л.  
ФГБУ “ГНЦ РФ ИТЭФ” НИЦ “Курчатовский Институт”*

В настоящее время жаропрочные ферритно-мартенситные стали являются перспективными конструкционными материалами активной зоны ядерных реакторов. В России ведутся разработки по созданию жаропрочных 12 %-ных хромистых сталей ЭК-181 (16X12В2ФТаР) и ЧС-139 (20X12НМВБФАР) [1].

Для разрабатываемых сталей серьезной проблемой является низкотемпературное радиационное охрупчивание, которое определяется снижением уровня ударной вязкости и повышением температуры хрупко-вязкого перехода. Так, нейтронное облучение ферритно-мартенситных сталей при 300–330 °С уже при повреждающих дозах в несколько сна приводит к повышению температуры хрупко-вязкого перехода на 50–150 °С, а при дозах более 20 сна достигает 200–250 °С [2]. Причины этого явления в ферритно-мартенситных сталях не полностью понятны. В связи с этим изучение микроструктурных изменений в ферритно-мартенситных сталях в отмеченном интервале доз весьма актуально.

Целью настоящей работы является изучение изменения наноструктуры стали ЧС-139 методом атомно-зондовой томографии. В работе применялось облучение ионами железа, которое позволяет моделировать каскадное рождение дефектов и, соответственно, моделировать влияние реакторного облучения на тонкую структуру исследуемого материала. Облучение проводилось на Стенде Облучения Реакторных МАТериалов «СОРМАТ» (ИТЭФ) при комнатной температуре. Образцы для атомно-зондовых исследований облучались до дозы ~ 9 и 18 сна. В исходном состоянии стали ЧС-139 в объеме материала обнаружено значительное число наноразмерных кластеров ( $\sim 10^{23} \text{ м}^{-3}$ ), обогащенных хромом, ванадием, азотом и ниобием. Показано, что под воздействием облучения происходит изменение состава и размеров кластеров. Увеличение размера кластеров в процессе облучения сопровождается снижением в них концентрации хрома, ванадия, азота и ниобия.

1. Леонтьева-Смирнова М. В., Иолтуховский А. Г. и др., *Вопросы атомной науки и техники, серия: Материаловедение и новые материалы*, 1(64), 247 (2005).
2. E. Gaganidze, C.Petersen, et al., *J. Nucl. Mater.*, 2011, v. 417, p. 93-98.

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ПРОТОННОЙ РАДИОГРАФИИ

*Колесников Д.С., Канцырев А.В., Голубев А.А.  
ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

С использованием протонно-радиографических установок ПУМА [1] в ИТЭФ и PRIOR [2] в GSI проведены эксперименты по исследованию экстремального состояния вещества в динамических процессах, таких как ударно-волновые процессы в газах, детонация в конденсированных веществах, электровзрыв проводников в воде и др. Важной задачей в данных экспериментах является восстановление распределения объемной плотности в исследуемом объекте по единичному протонно-радиографическому изображению динамического процесса.

Для решения данной задачи, в программной среде Matlab, реализован рекуррентный алгоритм обратного преобразования Абея [3]. В ходе тестов было установлено, что данный алгоритм очень чувствителен к искажениям в исходных данных. В связи с этим, в программной среде Matlab, реализован ряд методик по коррекции искажений в первичных изображениях. Подавление шумового сигнала осуществлено с помощью многоуровневой пороговой обработки средствами вейвлет-анализа [4]. Для компенсации размытия изображений применен деконволюционный алгоритм Люси-Ричардсона. Реализован алгоритм коррекции неоднородности и нестабильности поперечного профиля пучка с помощью асимметричной функции Гаусса.

Для демонстрации данных методик проведена обработка результатов экспериментов по электровзрыву проводников в воде на установке PRIOR и детонации ТНТ на установке ПУМА.

1. A. V. Kantsyrev, A.A. Golubev et al., *IET*, 2014, No. 1, pp. 5-14;
2. D. Varentsov et al., *Review of Scientific Instruments*, 2016, 87(2), pp. 13-14;
3. Г. Хермен, *Восстановление изображений по проекциям: основы реконструктивной томографии*, Москва, «МИР», 1983г, 352 с.;
4. Н.К. Смоленцев, *Основы теории вейвлетов, вейвлеты в MatLab*, Москва, «ДМК», 2005г., 304 с.

# ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИРАКОВСКИХ ПОЛУМЕТАЛЛОВ

*Котов А.Ю., Брагута В.В.,*

*ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

Дираковские полуметаллы представляют собой новые, недавно открытые материалы, в которых низкоэнергетические электронные возбуждения могут быть описаны двумя ароматами безмассовых 3+1D Дираковских фермионов. Благодаря малости скорости Ферми взаимодействие между фермионными квазичастицами в Дираковских полуметаллах может быть описано как мгновенное Кулоновское с большой эффективной константой связи  $\alpha \sim 1$ .

В данном докладе будут представлены результаты изучения фазовой диаграммы Дираковских полуметаллов методами решеточного моделирования. В частности, будет вычислен киральный конденсат как функция эффективной константы связи и определено положение перехода полуметалл-изолятор в Дираковских полуметаллах.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ФОРБУШ ПОНИЖЕНИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ПАМЕЛА**

***Лагойда И.А., Воронов С.А., Михайлов В.В.***

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

Явление в физике космических лучей, получившее название Форбуш понижения (ФП) или Форбуш эффекта, впервые было зарегистрировано С. Форбушем в 1937 г. Это явление заключается во внезапном понижении интенсивности галактических космических лучей (ГКЛ) в широком диапазоне энергий. Однако, несмотря на долгий период исследований, природа данного явления до сих пор полностью не ясна. На сегодняшний день, данный эффект в основном изучается с помощью нейтронных мониторов и мюонных годоскопов, установленных на поверхности Земли, которые, в свою очередь регистрируют продукты взаимодействия ГКЛ с атмосферой. Приборы, установленные на космических спутниках, позволяют проводить прямые измерения потоков ГКЛ, в отличие от наземных установок. В работе представлены события Форбуш понижений для потоков протонов и ядер гелия, зарегистрированные на протяжении цикла измерений эксперимента ПАМЕЛА. Параллельно проводилось сравнение данных эксперимента с данными полученными с нейтронных мониторов. На протяжении 9 лет эксперимента было зарегистрировано более 10 событий с четко выраженным понижением интенсивности ГКЛ.

## ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИОНОВ $C^{4+}$ - $C^{6+}$ В ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННОМ ИСТОЧНИКЕ НА ОСНОВЕ $CO_2$ ЛАЗЕРА ДЛЯ ТЯЖЕЛОИОННОГО ИНЖЕКТОРА ИТЭФ И-4

*Лосев А.А., Сатов Ю.А., Васильев А.А., Шумиуров А.В., Хрисанов И.А.  
ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

Описана схема сильноточного инжектора ионов с  $z/A \leq 0.5$ , включающая лазерно-плазменный генератор на основе импульсно-периодического лазера с пиковой мощностью 100 МВт/Гц, вакуумной мишенной камеры с фокусирующими объективами различной светосилы, системы экстракции пучка заряженных частиц и ускорителя И-4 ИТЭФ. В работе проведено исследование характеристик ионной компоненты плазмы, создаваемой импульсами  $CO_2$  лазера при облучении длиннофокусным объективом твердотельной мишени из углерода при плотности потока излучения  $1.5 \cdot 10^{11}$  Вт/см<sup>2</sup>. Актуальность работы определяется широким кругом приложений ускоренных пучков заряженных частиц, в частности, для фундаментальных исследований свойств вещества в коллайдерах ускоренных частиц (например проект НИКА, Дубна) и медицинских приложений для терапии в онкологии. Целью работы является исследование характеристик ионов генерируемых в лазерной плазме, в частности, их энергетического разлетного спектра, являющегося важнейшим параметром для дальнейшего ускорения пучка частиц. Развита в работе время-пролетная методика с применением энергоанализатора высокого разрешения позволила изучить динамику формирования спектра ионов путем определения времен вылета частиц заданной энергии и зарядности относительно лазерного импульса нагрева. Такие исследования могут иметь практическую ценность для формирования спектра разлета ионов на входе в ускоритель, улучшить согласование с ним и повысить таким образом эффективность ускорения и количество ускоренных частиц.

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ АТОМНО-ЗОНДОВОЙ ТОМОГРАФИИ С ЛАЗЕРНЫМ ИСПАРЕНИЕМ ДЛЯ НАНОМАСШТАБНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Лукьянчук А.А., Алеев А.А., Рогожкин С.В., Шутов А.С., Разницын О.А.  
ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

В передовых разработках конструкционных материалов, устройств нано- и микро-электроники и других приложений всё чаще требуется контролировать структурно-фазовое состояние на масштабах близких к атомным. Для обеспечения такого контроля применяются самые совершенные методики ультра-микроскопического анализа. Одной из таких перспективных методик контроля является атомно-зондовая томография. Главное её преимущество - определение распределения атомов практически любых химических элементов с пространственным разрешением в несколько десятых долей нанометра.

В ИТЭФ ведутся работы по разработке перспективного атомно-зондового томографа с лазерным испарением ПАЗЛ-3D. Применение фемтосекундного лазерного испарения позволяет существенно расширить спектр исследуемых материалов от сталей до стекол. Разрешающая способность ПАЗЛ-3D составляет 1-2 Å в глубину, а латеральное разрешение порядка 3 Å. Максимальное разрешение по массе на полувысоте пика составляет 1000. В данной работе представлены этапы разработки установки, а также продемонстрированы возможности исследования материалов с нано- и микро-особенностями.

## НОВЫЕ РАСПАДЫ $\Lambda_b$ БАРИОНА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ LHCb

*Матюнин В.И.*

*ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

В докладе будут представлены результаты поисков новых распадов  $\Lambda_b$  бариона в эксперименте LHCb, проведенных на основе данных, набранных в протон-протонных столкновениях в 2011 и 2012 годах при энергиях 7 и 8 ТэВ соответственно и суммарной светимости  $3 \text{ фб}^{-1}$ .

## ДЕТЕКТОР БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ С МАЛЫМ УРОВНЕМ ПОМЕХ

***В.В. Мицук<sup>1,2</sup>, М.В. Мордовской<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup> Институт ядерных исследований РАН*

*<sup>2</sup> Московский физико-технический институт*

В работе исследуются характеристики прототипа модели детектора быстрых нейтронов с энергиями  $\sim 1 - 10$  МэВ.

Проектируемый детектор состоит из трех сцинтилляторов (жидкостного, аналога NE-213, и двух литиевых стекол, обогащенных  ${}^6\text{Li}$ , замедлителя из пластика и двух фотоэлектронных умножителей ФЭУ. Быстрые нейтроны регистрируются в жидкостном сцинтилляторе, замедляются до тепловых энергий в жидкостном сцинтилляторе и замедлителе и регистрируются в литиевых стеклах.

За счет особенностей устройства детектора обеспечивается эффективное подавление счета фоновых тепловых нейтронов и  $\gamma$ -квантов и, как следствие, возможность обнаружения и локализации источников быстрых нейтронов при наличии сильного фона.

Детектор испытывался на установке с использованием Pu-Be источника нейтронов.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КЛАСТЕРНОЙ СТРУКТУРЫ ЛЕГКИХ ГАЛО- ЯДЕР: МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАКЦИЙ ${}^6\text{He}+{}^2\text{H}\rightarrow{}^6\text{Li}+(\text{nn})$ и ${}^6\text{Li}+{}^2\text{H}\rightarrow{}^6\text{Li}+(\text{np})$ .

*Мицук В.В.<sup>1,2</sup>, Каспаров А.А.<sup>1</sup>, Конобеевский Е.С.<sup>1</sup>, Мордовской М.В.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *Институт ядерных исследований РАН*

<sup>2</sup> *Московский физико-технический институт*

Известно, что в свободном состоянии не существует связанного динейтрона, дипротона, и даже синглетного дейтрона. Энергии квазисвязанных синглетных состояний двухнуклонной системы составляют порядка 0.1 – 0.2 МэВ, над порогом развала. Однако в ядре синглетная пара может быть более связана, образуя кластер.

Основная идея предлагаемых экспериментов состоит в том, что если из  ${}^6\text{He}$  или  ${}^6\text{Li}$  быстро удалить альфа-кор, то наблюдаемый характер импульсных распределений “оставшихся” nn и np пар не должен измениться, т.к. эти пары являются в таком эксперименте “спектаторами”, которые быстро вылетают из зоны реакции без сильных искажений того состояния, которое эта пара имела первоначально. Можно ожидать, что измеренные nn- и np-корреляции, в частности энергии nn (np) квазисвязанного синглетного  ${}^1S_0$  состояния окажутся совсем не те, которые присущи свободным nn- и np-системам.

Проведенное кинематическое моделирование реакций подхвата альфа-кора из ядра  ${}^6\text{He}$  или  ${}^6\text{Li}$  показало возможность получения информации об энергии квазисвязанных двухнуклонных состояний и определило необходимые параметры планируемого эксперимента.

## КРИТИЧЕСКИЕ СИЛЫ КАЗИМИРА В МОДЕЛИ ИЗИНГА С ДЕФЕКТАМИ

*Мостовой С.Д.<sup>1</sup>, Павловский О.В.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова*

<sup>2</sup> *ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

В докладе будут рассмотрены результаты исследований модели Изинга с дефектами методами Монте-Карло. Показано, что индивидуальные дефекты обладают собственной массой и за счет термальных флуктуаций модели взаимодействуют друг с другом посредством критических сил Казимира. Обсуждается явление кластеризации дефектов в модели.

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ТИТАНОВОГО СПЛАВА Ti-5Al-4V-2Zr

*Никитин А.А.<sup>1</sup>, Рогожкин С.В.<sup>1</sup>, Корчуганова О.А.<sup>1</sup>, Счастливая И.А.<sup>2</sup>, Орехов А.С.<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup> ФГБУ ГНЦ РФ ИТЭФ НИЦ "Курчатовский институт"*

*<sup>2</sup> ГНЦ ФГУП «ЦНИИ конструкционных материалов «Прометей»*

*<sup>3</sup> НИЦ «Курчатовский институт»*

В работе проведено изучение микроструктуры и анализ химического состава фаз и включений в образцах титановых сплавов Ti-5Al-4V-2Zr в исходном состоянии, после облучения ионами титана до дозы радиационного повреждения  $\sim 1$  сна при температуре 260 °С и после температурной выдержки при 450 °С в течение 1000 часов. Проведены микроструктурные исследования с помощью просвечивающей электронной микроскопии. Анализ фаз проведен с помощью энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии. Представлены результаты элементного анализа зерен матричной фазы и включений  $\beta$  фазы. Проведен детальный нанохимический анализ сплава Ti-5Al-4V-2Zr методами атомно-зондовой томографии всех представленных состояний. Показано пространственное распределение химических элементов в  $\alpha$  и  $\beta$  фазах. В облученном материале обнаружено образование наноразмерных сегрегаций ванадия в  $\alpha$  фазе.

## РАСЧЕТ КРИТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ГРАФЕНЕ

*Новосёлов А.А.<sup>1,2</sup>, Павловский О.В.<sup>1,2,3</sup>*

<sup>1</sup> ФГБУ "ГНЦ РФ ИТЭФ" НИЦ "Курчатовский институт"

<sup>2</sup> Московский государственный университет

<sup>3</sup> Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Благодаря своей уникальной структуре, графен представляет собой твердотельную модель физики элементарных частиц. В графене можно наблюдать и исследовать различные теоретико-полевые эффекты. Одним из них является явление критического заряда, представляющее большой теоретический интерес. В данной работе явление критического заряда в графене исследуется при помощи решения уравнения Дирака для электронных возбуждений на двухмерной поверхности. В качестве внешнего потенциала выступает экранированный  $\sigma$ -орбиталями Кулоновский потенциал. Рассматриваются различные способы генерации массовой щели, варианты экранировки потенциала и типы подложки. Показано, что явление критического заряда в графене достижимо при физически осмысленных параметрах даже при небольших внешних зарядах.

## МЕТОДИКА НАСТРОЙКИ И ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛЯ МАГНИТОТВЕРДЫХ КВАДРУПОЛЬНЫХ ЛИНЗ

*Панюшкин В.А., Голубев А.А., Канцырев А.В., Савин С.М., Богданов А.В., Скачков В.С.  
ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

В ионно–оптических секциях формирования изображений протонно-радиографических установок на ускорителях протонов в США [1], Германии [2] и России [3] используются магнитотвердые квадрупольные линзы (ПМК), созданные на основе постоянных магнитов NdFeB. Так как качество магнитного поля ПМК влияет на эффективность протонно-радиографической установки, необходимо контролировать качество магнитного поля в процессе настройки и эксплуатации ПМК. Известно, что первичный протонный пучок и вторичное нейтронное излучение приводит к радиационному повреждению магнитного материала ПМК. Ухудшение характеристик магнитного поля ПМК приводит к появлению хроматических аберраций и деградации протонно-радиографических изображений, ухудшению пространственного разрешения. С целью повышения эффективности протонно-радиографических установок разработана методика контроля качества магнитного поля, включая магнитный сканер. Создан высоковольтный генератор и стенд для перемагничивания ПМК.

В данной работе приводится описание аналитических [4], аппаратных и программных средств для анализа магнитного поля ПМК и определения радиационных повреждений магнитного материала. Приводятся результаты измерения характеристик магнитного поля ПМК линз установок PRIOR (Германия) и ПУМА (Россия). Описывается методика и результаты восстановления характеристик магнитного поля ПМК путем перемагничивания магнитных элементов линз.

1. *Mottershead T. et al., Proc. 2003 Particle Accelerator Conference, Portland (Oregon, USA), May 12-16 2003, pp. 702-704;*
2. *D. Varentsov et al., Review of Scientific Instruments, 2016, 87, issue 2, p. 023303/1–023303;*
3. *Канцырев А.В. и др., ПТЭ № 1, М., 2014, с. 5;*
4. *A.V. Kantsyrev, V.I.S. Skachkov, V.A. Panyushkin, A.A. Golubev et al., IET, 2016, Vol. 59, No. 5, pp. 712–723.*

# КАЛИБРОВКА КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЭКСПЕРИМЕНТА LHCb

Перейма Д.Ю.

*ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

Эксперимент LHCb (Large Hadron Collider beauty experiment) является одним из четырех основных детекторов на Большом адронном коллайдере. Главной задачей эксперимента является поиск косвенных проявлений физических явлений за пределами Стандартной Модели в распадах адронов, содержащих тяжелые кварки.

Калориметрическая система эксперимента LHCb состоит из: детектора на основе сцинтилляционных пластин, предливневого детектора, электромагнитного и адронного (HCAL) калориметров. Задачи калориметрической системы – идентификация частиц и обеспечение триггера нулевого уровня, необходимого для режекции 98% фоновых событий в неупругих протон-протонных столкновениях. Калориметр HCAL предназначен для запуска триггера нулевого уровня за счет регистрации адронов с поперечной энергией более 3.5 ГэВ. Калориметр HCAL собран из чередующихся слоев железного поглотителя и органического сцинтиллятора. Система светосбора выполнена с использованием спектросмещающего волокна. Сгруппированные в пучки волокна транспортируют свет к фотоэлектронным умножителям (ФЭУ), формируя ячеистую структуру калориметра HCAL.

Исходя из требований, предъявляемых к калориметру HCAL [1], система его калибровки и мониторинга имеет возможность контроля всего оптического тракта (сцинтиллятор, волокно, ФЭУ). Для выполнения поставленных задач используется цезиевая калибровочная система [2], построенная на гидравлическом перемещении миниатюрных контейнеров (капсул), содержащих радиоактивный источник  $^{137}\text{Cs}$  (цезий-137) с активностью  $\sim 10$  мКи (милликюри). Перемещение капсулы осуществляется сквозь ячейки всех модулей калориметра (модули соединены последовательно). Измерение средних токов ФЭУ осуществляется синхронно с движением капсул.

В работе представлено использование системы калибровки во время набора физических данных и осуществления мониторинга параметров адронного калориметра детектора LHCb с помощью миниатюрных источников, перемещаемых потоком жидкости через последовательность трубок, проложенных внутри тела калориметра.

1. *LHCb collaboration, The LHCb detector at LHC, JINST, 2008, 34.*
2. *Guz Yu. P., The LHCb hadron calorimeter, JPCS, 2009, 160.*

# ТРЕКОВЫЙ ДЕТЕКТОР НА ОСНОВЕ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ВОЛОКОН (SciFi) ДЛЯ УСОВЕРШЕНСТВОВААННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА LHCb

*Петров А.Н., Малинин А.Г., Шевченко В.И.  
НИЦ «Курчатовский институт»*

Увеличение светимости на Большом адронном коллайдере [1] требует существенной модернизации детекторов эксперимента LHCb (CERN). Одним из выбранных направлений является модернизация его трековой системы, в ходе которой планируется использовать относительно новую технологию с использованием сцинтилляционных волокон.

Сцинтилляционный волоконный детектор (с англ. Scintillating Fiber Tracker, сокр. «SciFi») должен обеспечить пространственное разрешение лучше 100 мкм и высокое быстродействие (20 нс и лучше), а требования по радиационной стойкости учитывают уровень светимости, с которой будет работать ускоритель в следующей фазе. Основным активным элементом трекового детектора является SciFi-модуль, включающий сборку из сцинтилляционного волокна и кремниевые фотодиоды для считывания сигнала. Сборки имеют размеры 2424 x 132 мм и состоят из 6 слоев волокон диаметром 250 мкм марки SCSF-78MJ производства Kuraray (Япония). Его радиационная стойкость была измерена на Большом адронном коллайдере при различных энергия пучка и дозах облучения. Результаты показали потери менее 20 % от ожидаемого уровня в области наибольшего уровня облучения. Пространственное разрешение SciFi-модулей было измерено в тесте на пучке эксперимента SPS (CERN) [2]. Данные сравнивались на кремниевом пиксельном трековом детекторе с разрешением 10 мкм и на SciFi-модуле. Пространственное разрешение SciFi-модуля составило 79 мкм.

Создание сборки осуществляется путем намотки сцинтилляционного волокна на специальной машине с нанесением эпоксидного клея. Производство является сложным процессом, учитывающим множество факторов. НИЦ «Курчатовский институт» (Москва) совместно с коллегами из ИТЭФ (Москва), ЦЕРН (Швейцария), а также из университета в Дортмунде и Аахене (Германия) принимают участие в разработке технологии массового производства оптоволоконныхборок для трекового детектора LHCb, где потребуется не менее 1300 такихборок.

1. CERN-LHCC-2014-001 ; LHCb-TDR-015 , <https://cds.cern.ch/record/1647400>

2. CERN-LHCb-PUB-2015-008, LHCb-EDR-M-M <http://cds.cern.ch/record/2004811>

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЯ СВЕТОВОХОДА СТРИПОВ ДЛЯ DANSS

*Погорелов Н.А.*

*ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

В детекторе реакторных антинейтрино DANSS, работающем на Калининской АЭС, используются сцинтилляторные стрипы метровой длины, в каждом из которых имеется три канавки с волокнами. Центральный волокно выходит на SiPM, боковые - на PMT. Важным параметром является зависимость световыхода от поперечной координаты.

Для исследования этого параметра, нами был собран стенд, состоящий из стрипов, аналогичных используемым в DANSS, экспериментальных стрипов (рассматривается возможность использования в других подобных установках стрипов другой конструкции) и пропорциональных камер. Стенд собирает статистику по пролетевшим через него космическим частицам. Восстанавливая их треки с помощью пропорциональных камер, мы можем получить интересующую нас зависимость. Доклад посвящен конструкции стенда, критериям отбора событий, результатам исследования старых и экспериментальных стрипов.

# АЗИМУТАЛЬНЫЕ ДЕКОРРЕЛЯЦИИ СТРУЙ ШИРОКО РАЗНЕСЕННЫХ ПО БЫСТРОТЕ В РР СТОЛКНОВЕНИЯХ С ЭНЕРГИЕЙ 7 ТэВ

*Поздняков И.Ю.*

*ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

Азимутальные декорреляции между струями с максимальной разностью быстрот (Мюлле-Навелет) струями измерены в рр столкновений по данным детектора CMS на ускорителе LHC при энергии столкновений 7 ТэВ. Измерения представлены в форме распределений разности азимутальных углов,  $\Delta\phi$ , между Мюллер-Навелет струями, средних косинусов  $(\pi - \Delta\phi)$ ,  $2(\pi - \Delta\phi)$  и  $3(\pi - \Delta\phi)$ , и отношений этих косинусов. В анализ включались струи с поперечным импульсом,  $p_T$ , не менее 35 ГэВ и быстротой,  $|y|$ , по модулю не превосходящей 4.7. Результаты представлены как функции разности быстрот,  $\Delta u$ , между Мюллер-Навелет струями, значение которой впервые достигло 9.4. Результаты сравнивались с предсказаниями различных Монте-Карло генераторов событий и с аналитическими предсказаниями, основанными на ДГЛАП и БФКЛ схемах эволюции партонов.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТОМОГРАФИЧЕСКОГО АТОМНО-ЗОНДОВОГО АНАЛИЗА СТАЛЕЙ НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

*Разницын О.А., Лукьянчук А.А., Шутов А.С., Рогожкин С.В.  
ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

Современные разработки перспективных конструкционных материалов в различных областях, включая атомную энергетику, требуют анализа структуры на масштабах, близким к атомарным. Одной из методик подобных атомно-масштабных исследований является атомно-зондовая томография. Основным ее преимуществом перед другими методиками является возможность получать трехмерное распределение атомов в исследуемом образце с разрешением примерно  $3 \text{ \AA}$  при одновременном определении их химической природы с массовым разрешением  $M/\Delta M$  порядка 1000.

В «ИТЭФ» ведется разработка атомно-зондового томографа с лазерным испарением. Применение лазерного испарения позволяет исследовать не только проводящие материалы, но и полупроводники, а также гетерогенные системы, например повысить качество исследований диэлектрических включений в сталях. В настоящее время прототип томографического атомного зонда с фемтосекундным лазерным испарением и современным позиционно-чувствительным детектором на основе линий задержки запущен в ИТЭФ, проводится отработка методик исследования и подбор параметров исследования различных материалов.

В данной работе проведено исследование влияния параметров томографического исследования модельного сплава Fe-21.3ат.%Cr на точность восстановления данных. В ходе подбора и оптимизации параметров обеспечена точность определения химического состава Cr до 0.1ат.%. Полученные зависимости точности восстановления данных от параметров прибора использованы при исследовании перспективных конструкционных сталей для ядерных реакторов – дисперсионно-твердеющих сталей и дисперсно-упрочненных оксидами.

# КИНЕМАТИКА АДРОННЫХ СТРУЙ СОБЫТИЙ СТАНДАРТНОГО БОЗОНА ХИГГСА И ФОНОВ ПРИ 8 ТэВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ АТЛАС

*Рамакоти Е.Н.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

<sup>2</sup>*ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

Основной целью работы являлось изучение кинематики адронных струй в канале распада бозона Хиггса  $H \rightarrow WW^* \rightarrow l\nu l\nu$  при энергии  $\sqrt{s} = 8$  ТэВ в эксперименте АТЛАС на Большом Адронном Коллайдере (LHC). Было приведено сравнение кинематики моделируемых событий с данными ATLAS 2012 года. Показано, что в целом моделирование удовлетворительно описывает экспериментальные данные.

## **ВЫДЕЛЕНИЕ АНТИПРОТОНОВ НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ, ОСТАНОВИВШИХСЯ В ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНОМ КАЛОРИМЕТРЕ СПЕКТРОМЕТРА ПАМЕЛА**

***Роденко С.А.<sup>1</sup>, Майоров А.Г.<sup>1,2</sup> от имени коллаборации ПАМЕЛА***

*<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

*<sup>2</sup>Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова*

Экспериментальные измерения потока антипротонов в околоземном космическом пространстве имеют важное значение для космофизики, в том числе, для определения свойств гипотетических частиц «темной» материи. С июня 2006 года по январь 2016 года на борту КА Ресурс-ДК1 проводился научный эксперимент ПАМЕЛА по изучению различных компонент космических лучей в широком диапазоне энергий. Спектрометр ПАМЕЛА позволяет регистрировать антипротоны низких энергий ( $E < 1$  ГэВ) независимо при помощи двух приборов – магнитной трековой системы и стрипового позиционно-чувствительного калориметра. В работе представлен метод идентификации останавливающихся в калориметре антипротонов, который основан на анализе топологии треков антипротона и вторичных заряженных мезонов, возникающих в процессе его аннигиляции. Ожидается, что применение этого метода позволит независимо подтвердить результаты магнитного анализа, а также увеличить статистику за счёт большего геометрического фактора калориметра в сравнении с трековой системой.

**ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРА НАКЛОНА ДИФРАКЦИОННОГО  
КОНУСА УПРУГОГО ПРОТОН-ПРОТОННОГО РАССЕЙНИЯ ПРИ  
 $\sqrt{s}=200$  ГэВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ STAR**

*Самигуллин Э.И.*

*ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

В данной работе представлены результаты обработки данных упругого протон-протонного рассеяния с  $\sqrt{s} = 200$  ГэВ с эксперимента STAR. Был измерен параметр наклона дифракционного конуса в пределах квадрата переданного импульса  $0.04 \leq |t| \leq 0.12$  (ГэВ/с)<sup>2</sup>, и составил  $b = 14.84 \pm 1.55$  (ГэВ/с)<sup>-2</sup>.

## СТАРШИЕ ГАМИЛЬТОНИАНЫ СИСТЕМЫ КАЛОДЖЕРО И R-МАТРИЧНОЗНАЧНЫЕ ПАРЫ ЛАКСА

Сечин И.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»

<sup>2</sup> Московский физико-технический институт

Доклад будет посвящен одному соответствию между квантовыми и классическими интегрируемыми системами.

Оказалось, что некоторые квантовые R-матрицы, участвующие в квантовом методе обратной задачи, удовлетворяют квадратичному алгебраическому соотношению — ассоциативному уравнению Янга-Бакстера, которое может рассматриваться как некоммутативное обобщение функционального уравнения типа Калоджеро, играющего ключевую роль в доказательстве классической интегрируемости многочастичных систем Калоджеро-Мозера. Такое наблюдение позволило использовать квантовые R-матрицы для построения пар Лакса классических интегрируемых систем. Однако явно была построена только простейшая пара Лакса, отвечающая самому первому нетривиальному гамильтониану системы Калоджеро-Мозера.

В данном докладе будет рассказано о попытках построить R-матричнозначные пары Лакса для случая старших гамильтонианов и о первых полученных в этом направлении результатах.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОТОННО-РАДИОГРАФИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ В СРЕДЕ GEANT4

*Скобляков А.В., Канцырев А.В., Богданов А.В.*  
*ФГБУ "ГНЦ РФ ИТЭФ" НИЦ "Курчатовский Институт"*

При исследовании плотных динамических мишеней высокоэнергетическая протонная радиография обладает большей просвечивающей способностью, лучшим пространственным разрешением и контрастной чувствительностью по сравнению с традиционными рентгеновскими методами.

Для проведения протонно–радиографических исследований статических и динамических объектов с массовой толщиной до  $5 \text{ г/см}^2$  с использованием пучка протонов с энергией 247 МэВ разрабатывается новая экспериментальная установка. Установка проектируется по схеме протонного микроскопа [1] с увеличением изображения объекта. В работе, с использованием кода Geant4, была разработана и построена виртуальная модель протонно-радиографической установки, включая квадрупольные линзы, мишенную камеру, тракт ионопровода, коллиматор и детектор пучка. Первичный расчет ионной оптики установки проводился в программе COSY. В рамках разработки модели установки написана программа позволяющая получать данные о фазовом объеме пучка и его угловом распределении. Проведено полномасштабное численное моделирование экспериментов со статическими мишенями переменной толщины и статической моделью динамических процессов в докозоне при исследовании аномальной сжимаемости. Разработанная модель может быть, так же, использована при моделировании экспериментов по протонной радиографии в проекте FAIR (Германия).

*I. A. V. Kantsyrev, A.A. Golubev et al., IET, 2014, No. 1, pp. 5-14.*

# БЕЗОПАСНОСТЬ БУДУЩИХ КОЛЛАЙДЕРОВ С ЭНЕРГИЕЙ 100 ТэВ В КОНТЕКСТЕ ОБРАЗОВАНИЯ СТАБИЛЬНЫХ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ЧЕРНЫХ ДЫР

Соколов А.В.

ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»

В теориях с дополнительными пространственными измерениями масса Планка может принимать малые значения (вплоть до нескольких ТэВ), что свидетельствует о возможности образования большого количества микроскопических чёрных дыр на будущих высокоэнергетических коллайдерах. Такие чёрные дыры должны мгновенно испаряться по законам квантовой механики, однако ввиду отсутствия экспериментальных данных о существовании этого процесса, а также отсутствия полностью разработанной и подтверждённой теории чёрных дыр, при анализе безопасности необходимо учитывать худшую ситуацию, в которой чёрные дыры рождаются стабильными. В данной работе рассчитываются сечения образования чёрных дыр на коллайдерах с энергией 100 ТэВ, доля задерживаемых Землёй чёрных дыр, а также времена аккреции этих чёрных дыр в теориях с различным числом пространственных измерений. Изучаются астрофизические следствия существования стабильных чёрных дыр, образующихся при соответствующих энергиях во Вселенной, в частности их влияние на время жизни белых карликов и нейтронных звёзд.

*1. Phys. Rev. D 91, 127301 ('Constraining spacetime variations of nuclear decay rates from light curves of type Ia supernovae')*

## МАГНИТНЫЕ ПОЛЯРИЗУЕМОСТИ МЕЗОНОВ

*Соловьева О.Е., Луцеская Е.В.*

*ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

Методами решёточной калибровочной теории было численно вычислено влияние магнитного поля на энергию основного состояния мезонов, а также магнитные поляризуемости псевдоскалярных и векторных мезонов.

Задача, которой посвящена наша работа, представляет интерес по многим причинам. В первую очередь потому, что магнитное поле может многое сказать о природе адронных состояний.

Другим важным аспектом работы, является то, что магнитные характеристики адронов еще плохо изучены экспериментально.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ПЕРЕДНЕМ КАЛОРИМЕТРЕ CMS

*Степеннов А.Д., Гаврилов В.Б.*

*ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

Детектор CMS (Compact Muon Solenoid) является одним из 4 основных экспериментов на большом адронном коллайдере. Одной из ключевых частей детектора является адронный калориметр, который подвергается воздействию высокоэнергетических частиц. Это приводит к падению прозрачности кварцевых волокон в передних калориметрах, и, как следствие, к изменению сигнала от измеряемых событий. Чтобы учесть этот эффект, вводится поправка для величины сигнала, в зависимости от продолжительности работы детектора. В работе описано измерение таких поправок для переднего адронного калориметра детектора CMS. В основе измерения - сравнение средней энергии, выделяющейся в разных частях переднего адронного калориметра для разных периодов времени.

## ИЗМЕРЕНИЯ АДРОННЫХ СТРУЙ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ALICE

*Султанов Р.И.*

*ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

Струи частиц, образующиеся при жестких соударениях партонов позволяют изучать свойства сильно взаимодействующей материи, создаваемой в ультра-релятивистских столкновениях тяжелых ядер. Ожидается, что горячая и плотная среда, созданная в таком столкновении, способствует потере энергии партонами на взаимодействие со средой и излучение глюонов. Поэтому, в таком процессе меняется фрагментация партона. В докладе говорится о результатах измерений заряженных струй в ион-ионных (PbPb) и протон-ионных (p-Pb) столкновениях при энергиях 2.76 и 5.02 ТэВ, полученных на эксперименте ALICE в ЦЕРН. Для оценки таких эффектов, связанных со средой, свойства струй в ионных столкновениях различной центральности сравниваются со струями в протонных столкновениях. Измерения показывают сильное, зависящее от центральности столкновения, подавление производства струй в ионных столкновениях. В умеренно-периферических столкновениях наблюдается значительный «поток» струй ( $v_2$ ), указывая на зависимость потери энергии партоном от пути, пройденного в среде.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВРЕМЯ-ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ИНДЕНТИФИКАЦИИ $\pi^0$ -МЕЗОНОВ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ PrimEx ЛАБОРАТОРИИ ИМ. ТОМАСА ДЖЕФФЕРСОНА

Тарасов В.В.

*ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

Двухфотонный распад  $\pi^0$ -мезона играет важную роль в исследовании аномальных переходов, предсказанных Квантовой Хромодинамикой (КХД). Амплитуда распада  $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$  определяется, так называемой, киральной аномалией, возникающей при взаимодействии кварков с магнитным полем. В киральном пределе, предполагающем нулевые массы кварков, амплитуда этого распада точно предсказывается теорией и выражается через постоянную тонкой структуры, константу распада  $\pi^0$ -мезона и число цветных состояний КХД. С учётом поправок на ненулевые массы кварков, теория предсказывает ширину распада  $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$  с точностью 1%. Поэтому измерение этой величины со сравнимой точностью позволило бы проверить одно из фундаментальных предсказаний КХД. В эксперименте PrimEx ширина распада  $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$  определяется из измерения сечения фоторождения  $\pi^0$ -мезона в кулоновском поле ядра (механизм Примакова). Для идентификации нейтральных  $\pi^0$ -мезонов были использованы групповые и индивидуальные время-цифровые преобразователи, в которых измерялось время появления  $\gamma$ -кванта в группе модулей (состоящей из 5x5 индивидуальных модулей) или индивидуальном модуле гибридного калориметра (HyCal), что позволило отсеять фоновые события. Временное разрешение, полученное с использованием групповых ВЦП, для двух гамма квантов составило  $\sim 0.6$  нс (или порядка  $\sim 0.4$  нс для одной группы/одного гамма кванта), и помогло снизить фон в отбираемых событиях  $\pi^0$ -мезона, тем самым снизив систематическую ошибку прецизионного измерения ширины распада нейтрального пиона на два гамма-кванта.

## ПОИСК 2К-ЗАХВАТА $\text{Xe-124}$

*Текуева Д.А., Гаврилюк Ю.М., Ганганшев А.М., Казалов В.В., Кузьминов В.В.,  
Раткевич С.С.*

*Баксанская нейтринная обсерватория ИЯИ РАН*

В работе описана методика эксперимента по поиску двойного К-захвата  $^{124}\text{Xe}$  с помощью большого низкофонового медного пропорционального счетчика (МПС). Эксперимент проводится в Баксанской нейтринной обсерватории Института ядерных исследований Российской академии наук (БНО ИЯИ РАН). Экспериментальная установка расположена в Низкофоновой лаборатории Глубокого Залегания на глубине 4900 м.в.э. (НЛГЗ-4900). Установка представляет собой пропорциональный счетчик окруженный низкофоновой защитой состоящей из 18 см меди, 15 см свинца и 8 см борированного полиэтилена. Для заполнения МПС используется образец ксенона, обогащенный до 21 % по  $^{124}\text{Xe}$  (57г). Получен верхний предел полураспада для захвата двух электронов с К-оболочки.

## **РАЗРАБОТКА ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ВАКУУМНОГО СТЕНДА ДЛЯ НАСТРОЙКИ И ПРОВЕРКИ НА ПРЕДМЕТ ВТОРИЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ В ЧЕТВЕРТЬВОЛНОВОМ ГРУППИРОВАТЕЛЕ ПУЧКА ДЛЯ КАНАЛА СОГЛАСОВАНИЯ МЕЖДУ ФОРИНЖЕКТОРОМ С ПОКФ**

*Трушин М.С.*

*ФГБУ “ГНЦ РФ ИТЭФ” НИЦ “Курчатовский Институт”*

В 2016 году в рамках проекта по модернизации инжектора поляризованных пучков легких ионов на основе линейного ускорителя ЛУ-20 проведена замена форинжектора линейного ускорителя на ускоритель – форинжектор с ПОКФ (RFQ). Это позволяет использовать для питания высоковольтной платформы источника поляризованных ионов выпускаемый серийно разделительный трансформатор мощностью 35 кВА, напряжением до 160 кВ, что значительно сократит затраты на его использование и упростит эксплуатацию оборудования. В данный момент новый форинжектор на основе RFQ ускорителя введен в эксплуатацию.

Ускоритель с ПОКФ, помимо фокусировки и ускорения, осуществляет группировку частиц по фазам. Однако сгруппированный ускорителем пучок за время дрейфа через канал транспортировки, соединяющий ускоритель с ПОКФ и ЛУ-20, утратит заданное ускорителем фазовое распределение. В результате, интенсивность пучка на выходе из ЛУ-20 может упасть, так как пучок не будет должным образом инжектирован в линейный ускоритель. Для того чтобы сохранить заданное ускорителем распределение пучка до инжекции в ЛУ-20, предполагается использовать группирователь, расположенный в канале транспортировки между ускорителем с ПОКФ и ЛУ-20 (внутри вакуумного кожуха ЛУ-20).

Для этой цели сотрудниками ИТЭФ был разработан двухзоровый четвертьволновый коаксиальный группирователь пучка.

Группирователь представляет собой прямоугольный медный коаксиальный четвертьволновый резонатор с одной трубкой, двумя полутрубками дрейфа и двумя плунжерами. Плунжеры группирователя служат для надстройки резонансной частоты группирователя методом малых возмущений. Подстройка резонансной частоты группирователя необходима, так как ускоритель ЛУ-20 работает в автогенераторном режиме (резонансная частота форинжектора с ПОКФ и группирователя должна соответствовать резонансной частоте ЛУ-20 при изменении последней).

Так как данный группирователь является высокочастотным СВЧ - резонатором, необходима обязательная экспериментальная проверка данного СВЧ – устройства на предмет вторичной резонансной эмиссии, которая, в случае возникновения, может привести к выводу из строя резонатора.

Для этих целей сотрудниками ИТЭФ был разработан экспериментальный вакуумный стенд для проведения настройки и тренировки данной СВЧ - структуры.

# РОСТ ПЕРВИЧНЫХ ЧЕРНЫХ ДЫР В ДОРЕКОМБИНАЦИОННУЮ ЭПОХУ

*Урвачев Е.М.<sup>1,2</sup>, Глазырин С.И.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Московский физико-технический институт*

<sup>2</sup> *ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

В настоящее время известно несколько мощных квазаров на больших красных смещениях. Их наблюдаемые интенсивности можно объяснить наличием сверхмассивных чёрных дыр, но, в таком случае, массы этих чёрных дыр оказываются слишком большими для столь малого возраста Вселенной. Такие объекты требуют нестандартного сценария. В данной работе рассматривается вариант образования таких сверхмассивных черных дыр из первичных (то есть образовавшихся на дорекомбинационной стадии). Рассмотрена задача о сферически-симметричной стационарной аккреции релятивистской плазмы с учетом эффектов ОТО и получена аналитическая оценка динамики роста первичной дыры в условиях ранней Вселенной. Показано, что, в зависимости от начальной массы, возможно формирование ЧД произвольной конечной массы, а также существование в рамках данной модели критической начальной массы, при которой её рост будет бесконечным.

## **РАСЧЕТ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ИОННЫМ ПУЧКОМ НА УСКОРИТЕЛЕ ТИПр-1**

***Федин П.А., Куйбида Р.П., Саратовских С.М., Чалых Б.Б., Кулевой Т.В.***  
*ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

В современных ядерных и сооружаемых термоядерных установках существует проблема износа конструкционных материалов под действием нейтронных потоков. В ИТЭФ ведутся работы по изучению радиационной стойкости новых материалов с помощью ускоренных пучков ионов, имитирующих нейтронное воздействие. На линейном ускорителе ТИПр-1 образцы новых материалов облучаются пучками ионов химических элементов, входящих в состав образцов. В данной работе представлены устройство системы измерения пучка, расчет по измеряемым данным поперечных размеров пучка, и расчету дозы облучения образцов. Так же был разработан и создан прибор для подсчета дозы в автоматическом режиме.

## **КИРАЛЬНАЯ ВРАЩАТЕЛЬНО-ТЕПЛОВАЯ ВОЛНА В ХОЛОДНОЙ ФЕРМИ-ЖИДКОСТИ И ДЕФОРМАЦИЯ НУЛЕВОГО ЗВУКА**

*Френклах Д.М.*

*ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

В докладе будет рассмотрена волна плотности числа частиц и температуры во вращающейся холодной ферми-жидкости с левыми и правыми квазичастицами. На низких частотах она отвечает смешанной киральной вращательно-тепловой волне. На высоких частотах в ферми-жидкости существует другое известное возбуждение — нулевой звук. Будет показано, как присутствие киральной вращательно-тепловой волны деформирует нулевой звук.

**РАЗРАБОТКА КАНАЛА ТРАНСПОРТИРОВКИ ПУЧКА НА  
УСКОРИТЕЛЕ ТИПр-1 ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИМИТАЦИОННЫХ  
ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЮ ВЕЩЕСТВА С ПЛАЗМОЙ**

*Хабибуллина Е.Р., Гаврилин Р.О., Высоцкий С.А., Канцырев А.В., Кулевой Т.В.,  
Голубев А.А.*

*НИИ "Курчатовский институт" ФГБУ "ГНЦ РФ ИТЭФ"*

В ИТЭФ на линейном ускорителе ТИПр-1 возобновляются работы по изучению тормозной способности вещества в плазме. Специально разработанная для этого плазменная мишень, в которой происходит электрический разряд в газе, позволяет снизить эффект фокусировки ионного пучка из-за магнитного поля тока разряда. Также, на данной установке ведутся эксперименты по изучению радиационной стойкости конструкционных материалов реактора. На основе моделирования динамики пучка разработан прямолинейный канал транспортировки пучка для независимого проведения двух экспериментов.

# ПЕРЕХОДНЫЕ ФОРМ-ФАКТОРЫ ПСЕВДОСКАЛЯРНЫХ МЕЗОНОВ ВО ВРЕМЕНИ-ПОДОБНОЙ ОБЛАСТИ, ПОЛУЧЕННЫЕ ИЗ АНОМАЛЬНЫХ ПРАВИЛ СУММ

*Хлебцов С.П.<sup>1</sup>, Оганесян А.Г.<sup>1,2</sup>, Теряев О.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»

<sup>2</sup> Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ)

Процесс аннигиляции электрон-позитронной пары в пион и фотон рассмотрен с использованием переходного форм-фактора пиона во времени-подобной области, полученного с помощью Аномальных Правил Сумм (АПС). Было вычислено полное сечение процесса и его угловое распределение. В результате сравнения с экспериментальными данными, показано что метод АПС дает правильное описание эксперимента далеко от полюса. Также предложен способ разумного описания данных в области полюса с использованием метода АПС. Были получены строгие ограничения для параметров модифицированного метода АПС.

# ТОМОГРАФИЧЕСКОЕ АТОМНО-ЗОНДОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННОЙ ОКСИДАМИ СТАЛИ 12Cr ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ

*Хомич А.А., Орлов Н.Н., Разницын О.А., Лукьянчук А.А., Рогожкин С.В.*

*ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

Одной из важных проблем, касающейся создания новых реакторов деления и синтеза, является разработка материалов для активной зоны реактора. Эксплуатационные свойства новых материалов должны быть лучше по сравнению с уже имеющимися. Например, радиационная стойкость до 200 сна (смещений на атом), способность сохранять механические свойства при температурах больше 700 °С, высокая коррозионная стойкость и прочее. Одним из кандидатов способных удовлетворить данным требованиям является дисперсно-упрочненные оксидами (ДУО) стали. В настоящее время активно ведется разработка подобных материалов в мировых исследовательских центрах (ORNL, KIT, KAERI, ВНИИНМ и др.) Механические свойства ДУО сталей в значительной степени зависят от наноструктуры материала: размера и пространственного распределения дисперсных включений (оксидные частицы и кластеры). Известно, что такие элементы как Ti и V влияют на образование наноразмерных частиц, уменьшая их размер и увеличивая их плотность. С данной точки зрения важно изучать модельные ДУО стали с различными системами легирования. Данный подход может позволить углубиться в понимание процессов формирования наноструктуры ДУО материалов, в зависимости от их изначального состава. Более того, изучение поведения стабильности включений при облучении, в том числе с применением различных моделирующих воздействий, таких как облучение тяжелыми ионами, является важным вопросом, из-за применения ДУО сталей в ядерных реакторах. В данной работе модельная ферритно-мартенситная сталь 12Cr-1.1W-0.2V-0.3Ti-0.3Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, произведенная в Корейском Атомном Энергетическом Исследовательском Институте (KAERI), была облучена ионами железа Fe<sup>2+</sup> до дозы 9 сна при комнатной температуре, и затем исследована с помощью прототипа атомно-зондового томографа с лазерным типом испарения, разработанным в Институте Теоретической и Экспериментальной Физики (ИТЭФ). Получено трехмерное распределение элементов в исследованных объемах материала. Обнаружены кластеры, обогащенные преимущественно по таким элементам как Ti, O, V и Y в обоих состояниях. Наблюдался эффект снижения концентраций этих элементов в кластерах, при одновременном их увеличении в матрице после облучения ионами железа Fe<sup>2+</sup>. Кроме того, наблюдался эффект уменьшения среднего размера кластеров с 3-5 нм в исходном состоянии до 2-4 нм

после облучения без значительных изменений их плотности ( $\sim 10^{23} \text{ м}^{-3}$ ). Отношения концентраций элементов  $Y/Ti$ ,  $Y/(Ti+V)$ ,  $(Ti+V+Y)/O$  в кластерах остаются постоянными в пределах погрешности, что говорит о стабильности данных кластеров к облучению тяжелыми ионами железа при комнатной температуре до дозы 9 сна.

## **ЭФФЕКТИВНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ИМПУЛЬСОВ СО<sub>2</sub> ЛАЗЕРА В УСИЛИТЕЛЕ**

***Хрисанов И.А., Сатов Ю.А., Шумиуров А.В., Балабаев А.Н., Лосев А.А.**  
ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

В работе экспериментальными и расчетными методами исследована лазерная схема генерации мощного короткого импульса СО<sub>2</sub> лазера, основанная на «компрессии» импульса при нелинейном усилении. Схема отличается простотой, надежностью и эффективностью, что создает возможности широкого приложения, в том числе в импульсно-периодических режимах с высоким ресурсом наработки. Необходимое для проявления этого эффекта обострение фронта импульса на входе в усилитель создается в нелинейно-поглощающей ячейке SF<sub>6</sub>+N<sub>2</sub>. Данное исследование позволило провести разработку конструкции поглощающей ячейки и оптимизировать ее параметры, что гарантирует существенное укрупнение фронта нарастания излучения при ее прохождении. Показано, что при усилении такого импульса на установке ЗГ-Л100 в ИТЭФ возможно формирование мощного импульса наносекундного масштаба длительности.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ ВБЛИЗИ ПОРОГА НА ФЕМТОСАКУНДНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СИСТЕМЕ

*Цымбалов И.Н.<sup>1</sup>, Горлова Д.А.<sup>1</sup>, Мордвинцев И.М.<sup>1</sup>, Мушкаренков А.Н.<sup>2</sup>,  
Полонский А.Л.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Международный учебно-научный лазерный центр МГУ*

<sup>2</sup> *Институт ядерных исследований РАН*

Последнее десятилетие ознаменовалось бурным прогрессом в разработке и создании нового поколения твердотельных лазеров и лазерных систем, генерирующих импульсы фемтосекундной длительности. Фемтосекундные лазерные системы, обладая малой длительностью светового импульса (10 – 1000 фс), обеспечивают пиковую мощность вплоть до 1 ПВт, а при фокусировке излучения – интенсивность в диапазоне  $10^{16}$  -  $10^{21}$  Вт/см<sup>2</sup>. Эти системы позволяют получать в лабораторных условиях сверхсильные световые поля, недопустимые для получения другими способами. Использование сверхсильных световых полей для ускорения частиц делает возможным проведение ядерно-физических экспериментов. Фемтосекундные лазерные установки позволяют проводить различные ядерные реакции в малом объёме вещества, всего лишь подействовав на него лазерным импульсом [1].

В данной работе была поставлена задача получить экспериментальные данные по фоторасщеплению дейтрона в области энергий от порога до примерно 10 МэВ, используя фемтосекундный лазерный комплекс МЛЦ МГУ. Для этого была собрана установка, в которой гамма-излучение, полученное при торможении ускоренных лазерным импульсом электронов, взаимодействовало с вторичной мишенью из тяжелой воды. Для измерения гамма спектров использовались сцинтилляционные детекторы, а нейтроны, генерируемые при фоторасщеплении дейтерия, после замедления в пластике регистрировались массивом He-3 счетчиков. На основе этих результатов получены оценки сечения  $D(\gamma, n)H$  вблизи порога.

Кроме того, в данной работе будут описаны методики регистрации спектров ускоренных в лазерно-плазменном взаимодействии электронов и оценки возможности генерации в тяжелых вторичных мишенях электрон-позитронных пар.

*Работа выполнена при поддержке РФФ, грант 16-12-10039*

*1 Андреев А.В., Гордиенко В.М., Савельев А.Б. «Ядерные процессы в высокотемпературной плазме индуцируемой сверхкоротким лазерным импульсом» // Квантовая Электроника, 2001, т.31, №11, с.941;*

## ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА GERDA ФАЗА II И ИХ СОГЛАСОВАННОСТЬ С МОДЕЛЯМИ ФОНА

*Черногоров А.Е.*

*ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»  
от имени коллаборации GERDA*

Эксперимент GERDA (GERmanium Detector Array), созданный для поиска двойного безнейтринного бета-распада ( $0\nu\beta\beta$ ) в Ge-76, расположен в Национальной Лаборатории Гран Сассо (INFN) в Италии. В GERDA применяются детекторы из сверхчистого германия, обогащенного изотопом Ge-76. Детекторы погружены в жидкий аргон (LAr), который охлаждает их до рабочей температуры (87 К) и, одновременно, служит дополнительной защитой от фонового излучения. Набор данных Фазы II эксперимента начался в декабре 2015 года и продолжается в настоящий момент.

В Фазе II установка была дополнена 30 обогащенными широкополосными германиевыми детекторами (BEGe) для достижения экспозиции 100 кг•лет (общий вес обогащенных детекторов составил 35 кг). Целью разработки Фазы II является снижение фона на один порядок, чтобы получить чувствительность  $T_{1/2}^{0\nu} = O(10^{26})$  лет. Для достижения необходимого уровня фона установка была дополнена LAr вето.

Анализ фонового спектра Фазы II демонстрирует согласованность с разработанными моделями фона. Более того, уровни загрязнения от Ra-226 и Th-232 соответствуют результатам скрининга.

В первых данных Фазы II эксперимента сигнала от  $0\nu\beta\beta$  распада не было обнаружено и был установлен предел на период полураспада для этого процесса  $T_{1/2}^{0\nu}(Ge) > 5.2 \cdot 10^{25}$  лет (90% C.L., чувствительность  $4.0 \cdot 10^{25}$  уг). Будут представлены первые результаты эксперимента GERDA Фаза II.

## РАЗВИТИЕ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОТОННОЙ ОНКОФТАЛЬМОЛОГИИ

Черных А.Н.

*ФГБУ ГНЦ РФ ИТЭФ НИЦ "Курчатовский институт"*

В настоящее время протонная лучевая терапия (ПЛТ) находит все более широкое применение в практическом здравоохранении. Это обусловлено, прежде всего, возможностью качественного улучшения пространственных дозных распределений по сравнению с традиционно используемой для этих целей конвенциональной лучевой терапией пучками электронов и  $\gamma$ -квантов, что позволяет обеспечить лучшую конформность облучения и примерно вдвое снизить лучевую нагрузку на прилегающие к мишени здоровые ткани и тем самым уменьшить риск возникновения лучевых осложнений при одновременном увеличении подводимой к мишени дозы.

Лучевая терапия больного с внутриглазными новообразованиями пучками быстрых протонов позволяет снизить количество постлучевых осложнений, так как свойства заряженных частиц, таковы, что большая часть энергии поглощается в мишени, при очень небольшом воздействии на прилегающие вплотную к мишени окружающим здоровые ткани и структуры. Это обеспечивает не только деструкцию опухоли, но и снижение радиационного повреждения критических (боящихся облучения) структур глаза, таких как хрусталик или диск зрительного нерва, что потенциально позволяет сохранить глаз, а во многих случаях зрение. Поэтому сегодня ПЛТ является фактически безальтернативным методом лечения меланомы глаза. Брахитерапия остается методом выбора лишь при лечении очень малых (2 ÷ 3мм) внутриглазных злокачественных новообразований. Статистика итальянских, швейцарских и французских центров ПЛТ основанная на 12-ти летнем применении пучков протонов при лучевой терапии меланомы глаза, свидетельствует о следующих уже полученных результатах:

- локальный контроль опухоли – 98.0 %
- сохранение глаза – 88.7 %
- пятилетняя выживаемость – 95.0 – 97.0 %.

Несмотря на представленную статистику и все перечисленные преимущества применения ПЛТ в онкофтальмологии, потенциально возможно повышение эффективности лучевой терапии и сокращение времени лучевого сеанса работы, но оно нереализуемо без кардинального совершенствования аппаратного, физико-технического и программного обеспечения всех этапов проведения ПЛТ внутриглазных новообразований.

В данном докладе речь пойдет о развитии в Центре протонной лучевой терапии (ЦПЛТ) ИТЭФ физико-технического и программного обеспечения протонной онкофтальмологии, целью которого является повышение эффективности ПЛТ больных со злокачественными новообразованиями глаза и орбиты. В докладе будет представлен проект роботизированного терапевтического кресла-позиционера для размещения, иммобилизации, позиционирования и облучения больных, а так же программно-аппаратный комплекс визуализации изоцентра лучевой установки и отслеживания положения глаза в реальном времени в процессе конформного облучения внутриглазных мишеней сложной формы.

# СИЛА АРХИМЕДА, ДЕЙСТВУЮЩАЯ НА КАЗИМИРОВСКУЮ СИСТЕМУ

*Шеврин Е.Н., Шевченко В.И.*  
*НИИЦ «Курчатовский институт»*

Рассматривается задача о поведении системы казимировского типа [1, 2] в слабом гравитационном поле в плотной среде. Движение такой системы, как и всякой другой, должно подчиняться принципу эквивалентности, принимая во внимание соответствующие вклады в массу аппарата от его материальной части и от искаженных его присутствием квантовых полей. Обсуждается общее выражение для соответствующей силы. Вычисляется явное выражение для силы Архимеда [3], действующей на казимировскую систему конечного размера, погруженную в тепловую ванну свободного скалярного поля. Показано, что помимо универсального термина, пропорционального объему аппарата, существуют неуниверсальные квантовые поправки, зависящие от граничных условий [4].

1. H.B.G. Casimir, *Proc. Kon. Nederl. Akad. Wet.*, V.51 (1948) p. 793
2. N.D.Birrell, P.C.W.Davies, *Quantum Fields in Curved Space*.(Cambridge Monographs on Mathematical Physics) 1982
3. C. T. Ridgely, *Eur.J. Phys.* 31 (2010),491.
4. D.V.Vassilevich, *hep-th/0306138*.

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ АППАРАТУРЫ Baikal-GVD

*Шеленов М.Д.*

*Институт ядерных исследований РАН*

Основным инструментом исследования нейтрино в энергетическом диапазоне  $10^9$  –  $10^{16}$  эВ являются крупномасштабные черенковские детекторы (нейтринные телескопы), создаваемые в естественных водных средах (воде природных водоемов и антарктическом льду).

В настоящее время на оз. Байкал на основе опыта многолетней эксплуатации детектора NT200, создается нейтринный телескоп нового поколения Baikal-GVD с эффективным объемом порядка кубического километра. Телескоп Baikal-GVD будет иметь модульную структуру, формируемую из 12 функционально законченных установок - кластеров вертикальных гирлянд оптических модулей (ОМ). Базовая конфигурация кластера включает в свой состав 192 ОМ. Основными регистрирующими элементами Baikal-GVD являются фотоэлектронные умножители (ФЭУ) с полусферическими фотокатодами с диаметром 250 мм. ФЭУ с управляющей электроникой размещаются в глубоководных стеклянных корпусах, образуя оптические модули. Оптические модули монтируются на вертикальных грузонесущих кабельных линиях, формируя гирлянды. Гирлянды объединяются в кластеры. В 2015 году был введен в эксплуатацию первый кластер Baikal-GVD, который включает в свой состав восемь гирлянд по 36 ОМ расположенных на расстоянии 60 м друг от друга.

Установка Baikal-GVD предназначена для многолетней экспозиции в потоке космического излучения. Из-за трудности замены неисправных модулей детектора, требуется безотказная работа оборудования на протяжении долгого периода времени. Поэтому одной из важнейших задач для обеспечения работы детектора является обеспечение надежности его компонент. Для проверки соответствия электронных компонент регистрирующей системы Baikal-GVD необходимым требованиям долговечности, нужно исследовать надежность работы этих компонент и определить их частоту отказов. В данном докладе приведены результаты исследования надежности основных электронных узлов регистрирующей системы установки: платы контроллера ОМ, платы ФЭУ, платы АЦП и платы управления ОМ. В ходе проделанной работы произведена теоретическая оценка частоты отказов электронного оборудования; создан стенд для температурных испытаний аппаратуры регистрирующей системы установки; проведен анализ калибровочных данных для получения экспериментальной частоты

отказов. Было установлено, что теоретическая оценка хорошо согласуется с экспериментом. По полученной оценке в год будет отказывать ~1 % оборудования, что соответствует требованиям к надежности регистрирующей системы установки. Однако используя теоретическую оценку надежности, в дальнейшем возможно снижать процент отказов за счет выявления слабых мест электронных блоков и замены их на более надежные.

# ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ПРОТОТИПА АТОМНО-ЗОНДОВОГО ТОМОГРАФА ПАЗЛ-3D

*Шутов А.С., Лукьянчук А.А., Рогожкин С.В., Никитин А.А., Искандаров Н.А.  
ФГБУ «ГНЦ РФ ИТЭФ» НИЦ «Курчатовский институт»*

Атомно-зондовая томография позволяет исследовать 3х-мерные распределения химических элементов в материалах с атомарным разрешением. Ранее установленный в ИТЭФ томографический атомный зонд (ЕСОТАР САМЕСА) с высоковольтным режимом испарения предназначен только для исследования проводящих материалов. С целью расширения области исследований в настоящий момент в ИТЭФ разрабатывается прототип атомно-зондового томографа с лазерным испарением и 120-ти миллиметровой DLD-детектирующей системой ПАЗЛ-3D. Кроме расширения области применимости, эти усовершенствования позволили существенно увеличить количество собираемых данных. Однако, геометрические особенности ПАЗЛ-3D потребовали изменения базовых алгоритмов восстановления данных.

В настоящей работе представлены основные подходы к адаптации и оптимизации базовых алгоритмов восстановления данных атомно-зондовой томографии. Продемонстрированы методы учета нелинейных искажений траекторий ионов, обусловленных широко-угольной геометрией детектирующей системы и другими особенностями разрабатываемого прототипа. Показано, что учет данных искажений при восстановлении данных способен повысить разрешение по массе восстанавливаемого масс-спектра до  $(M/\Delta M)50\% > 500$ . Представлены основные подходы к учету особенностей широкоугольной геометрии при трехмерном восстановлении координат и построении атомных карт.

Реализованные подходы и оптимизированные алгоритмы апробированы в исследованиях ряда перспективных конструкционных материалов активной зоны реакторов (ферритно-мартенситных сталей, дисперсно-упрочненных оксидами сталей). Проведенные исследования демонстрируют значительные объемы собираемых данных (от 10 до 30 млн. атомов) и необходимую точность для определения химического состава как матрицы, так и наноразмерных выделений.